

クランク室圧縮2サイクル機関の燃焼に関する実験的研究(第2報)

その他（別言語等） のタイトル	The Study on the Combustion in a Crankcase-Compressed Two-Stroke Cycle Engine (2nd Report)
著者	澤 則弘, 林 重信
雑誌名	室蘭工業大学研究報告
巻	5
号	1
ページ	331-340
発行年	1965-07-08
URL	http://hdl.handle.net/10258/3247

クランク室圧縮2サイクル機関の燃焼に 関する実験的研究 (第2報)

沢 則 弘・林 重 信

The Study of Combustion in a Crankcase-Compressed Two-Stroke Cycle Engine (2nd Report)

Norihiro Sawa and Shigenobu Hayashi

Abstract

In this report, to examine the effects of various operating condition on the combustion characteristic, the propagating speed of the flame, the ignition delay period and the trapping efficiency are measured by means of the multiple ionization gaps, the photo electric cell and gas analyzing method respectively changing the delivery ratio (K) air-fuel (A/F), engine speed (N), ignition advance (θ_{ig}) and the amount of cooling air (Q_a).

I. 緒 言

ガソリン機関の性能を論ずる場合、シリンダ内の燃焼状態を知ることは極めて重要な意義を持つものと考えられる。一般にシリンダ内の燃焼は乱れた可燃混合気の火花点火による火焰伝播であると規定され¹⁾、逆に火炎の伝播速度や点火おくれの状況を観測することから燃焼状態を知ることが出来る。従って、かかる研究も数多く報告されているが、四サイクル機関についてのものが多く^{2)~3)}、クランク室圧縮型2サイクル機関についての報告は、筆者の知る範囲では藤本⁴⁾のものが見受けられる程度である。そこで本型式機関でとくに問題の多い低速回転に注目し、そのときの火炎伝播速度や、点火おくれを火炎面のもつ物理的性質を利用し、イオン間隙法を用いて測定し、これらに及ぼす諸因子の影響を明らかにすることから、シリンダ内における燃焼現象を把握するとともに、燃焼性能の向上に対する指針を得ようとするのが本研究の目的である。

II. 実験装置および実験方法

本実験に用いた供試機関は図-1に示すモーター・バイク用クランク室圧縮型2サイクル機関で、その諸元は表-1の通りである。実験装置を図-2に示す。すなわち給気側には給気量を測定するため、丸型ノズルとサージタンク②をおき、気化器の浮子室と燃料タンク①の間に

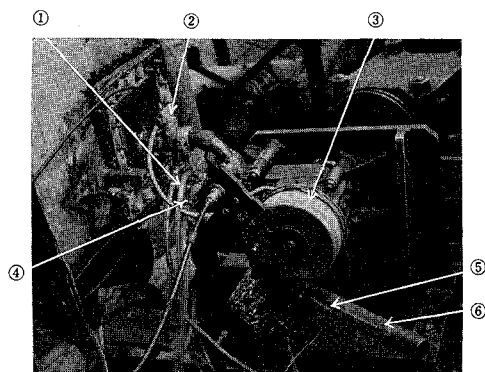


図-1 供試機関

- ① 冷却水用パイプ ④ シリンダヘッド
 ② 気化器 ⑤ 排気ガス抽出孔
 ③ 供試機関 ⑥ ”

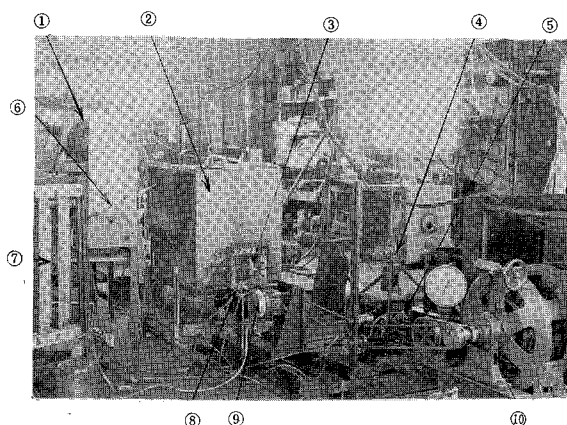


図-2 実験装置

- ① 燃料タンク ⑥ ベンチュリ型燃料消費計
 ② サージタンク ⑦ 排気ガス採取
 ③ 気化器 ⑧ 光電管 (PG 12)
 ④ 微動上下装置 ⑨ 供試機関
 ⑤ 気化器フロート ⑩ 電気動力計

表-1 供試機関の諸元

シリンダ径×行程 mm	55 ϕ × 52.5
行程体積 cc	127
圧縮比	7
クランク室体積 cc at T.D.C.	452
点火進め角	28°
ポートタイミング (対称型)	<div> 給気孔 70° T.D.C. 掃気孔 57° B.D.C. 排気孔 69.3° B.D.C. </div>

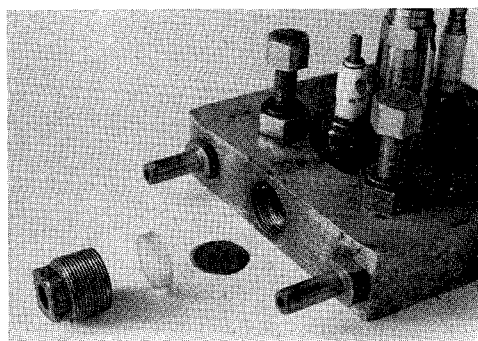


図-3 観測用窓付シリンダヘッド

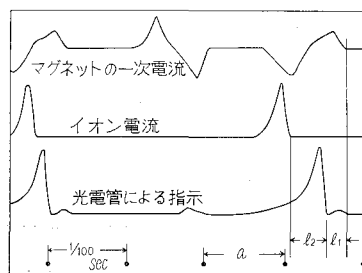


図-4 オシログラムの一例

ベンチュリ型流量計 ⑥ を取り付け燃料流量を測定した。なお燃料流量を広範囲にしかも微量に調整するため浮子室 ⑤ を気化器本体 ③ から分離し微動装置 ④ で上下に動かすようにした。また点火おくれ期間を測定するため、図-3 に示すシリンダヘッドを準備した。観測用の窓を設け(雲母板およびガラス板にて密封)、この窓を通して光電管 (PG 12) で燃焼開始時期をとらえ、増幅器⁵⁾をへて電磁オシログラムに導びいた。この際、点火栓回路の一次電流の変化をも同時記録し、両者の時間的おくれから点火おくれを求めた。

さらに、火炎伝播速度を求めるため、点火栓のほかにイオンギャップ用のプラグを2個取

りつけ、ここに流れたイオン電流を増幅器⁶⁾をとおして電磁オシロに導き、イオン化した火炎の到達時間を記録した。このようにして記録したオシログラムの一例を図-4に示している。

この図から、 l_1 、 l_2 を測定し、次式から火炎平均伝播速度(f_s)および点火おくれ(Δt)を求めた。

$$\Delta t = l_1/a \times \frac{1}{100} \quad (\text{sec}) \quad (1)$$

$$f_s = l/t = l/(l_2/a) \times \frac{1}{100} \quad (\text{m/s}) \quad (2)$$

なお、シリンダヘッドは、イオン間隙用点火栓および圧力計を取り付けるため冷却フィンをつけず冷却水を循環させ、シリンダ内ガス温度の測定には熱電対付点火栓を、又給気効率(η_{tr})の測定には排気ガス法⁷⁾を採用し、分析にはオルザート分析器を用いた。使用した燃料はオクタン価(O.N.) 87および98の市販自動車用ガソリンとオクタン価(O.N.) 115の航空ガソリンである。

III. 実験結果および考察

最大出力点火進め角(θ_{i0})は主としてシリンダ内の火炎伝播速度と点火おくれ時期から規定されるので、火花点火機関の性能向上に対して重要な因子と云える。従って管路内の火炎伝播⁸⁾、燃料液滴⁹⁾および燃料噴霧⁹⁾の点火おくれなどの基礎研究も活発に行なわれ、これらの結果一般に火花点火機関内の火炎伝播は乱流火炎伝播であり、主として、そのときの混合気の乱れの強さに影響され、また点火おくれ期間をきめるのは、電気火花附近の混合気の条件であることも知られている。ここではクランク室圧縮2サイクル機関の運転条件として、混合比、機関回転数、気化器開度、点火時期およびオクタン価を変えた場合の実験結果について検討を加えた。

III-1 混合比を変えた場合

機関回転数を一とし、(オクタン価 ON.-87, 気化器開度 C-4/4, 点火時期 $\theta_{i0}=24.5^\circ$), 燃料流量(空燃比 A/F)のみを変えた場合の火炎伝播速度に関する実験結果を図-5に示している。同図には農業用4サイクル機関¹⁰⁾($V_h=250$ cc)の測定値を併記しているが、2サイクル機関の火炎伝播速度(f_s)は4サイクル機関の場合と同様に、主として混合比に支配され、その値は理論混合比よりやや過濃なとき最大値を示し、これより過濃側で

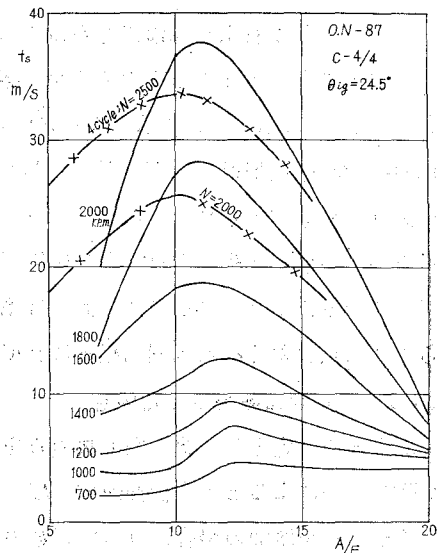


図-5 火焰伝播速度と空燃比

も又希薄側でも低下している。

しかし機関の回転数の低下に伴って、火炎伝播速度は順次小さくなり、混合比の影響も少なくなっている。一般に火炎伝播速度(f_s)は4サイクル機関の値よりも大きいようであるが、最大の火炎伝播速度を与える混合比は機関回転数の低下につれて、僅かながら理論混合比側にずれる傾向がある。これらはシリンダの最高圧力が、給気比や機関回転数の低下につれて減少し、その最大値を与える混合比が順次希薄側にずれる事実¹¹⁾と全く同じである。なお、この場合のシリンダ内ガス温度(熱電対付点火栓使用)を図-6に示しているが、低速における温度曲線($N=700$, $N=1200$)と火炎伝播速度曲線(図-5)との間には、全く相関関係は認められない。

しかし $N=1600$, $N=2000$ と高速化するにつれて、両曲線は相似となり、火炎伝播速度がシリンダ内ガス温度(燃焼状態)と密接な関係を持っていることが分る。

次に点火性は最高火炎温度を与える混合比附近で最もよく、これより過濃でも希薄でも点火性が劣化することは衆知の事実であるが、本実験においても図-7に示すように低オクタン価(O.N.=87)を用いた場合低速回転($N=700\sim 1000$)を除いては同様の結果が得られた。これは三針火花試験機を点火栓系統に並列に入れ¹²⁾、その点火開始時の間隙(D_g mm)から求めた点火性と同一傾向を示している。ただ三針法による点火は機関回転数にほとんど無関係であるが、イオン間隙法から求めた点火おくれは機関回転数に支配されている。

III・2 機関回転数を変えた場合

混合比を一定として機関回転数のみを変えた場合の火炎伝播速度に関する実験結果を図-8に示す。図によると火炎伝播速度(f_s)は機関回転数の約2.4~2.7乗に比例して増加しており、4サイクル機関の場合よりも回転数の影響が大きいようである。

2サイクル機関においては、シリンダ内における渦流が回転数の増加によって著しく助長

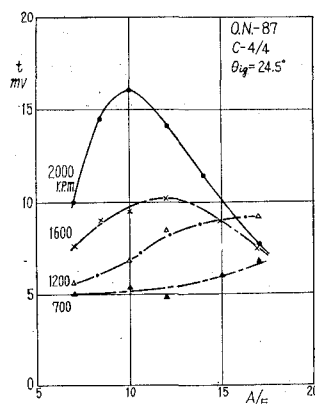


図-6 シリンダ内ガス温度と空燃比

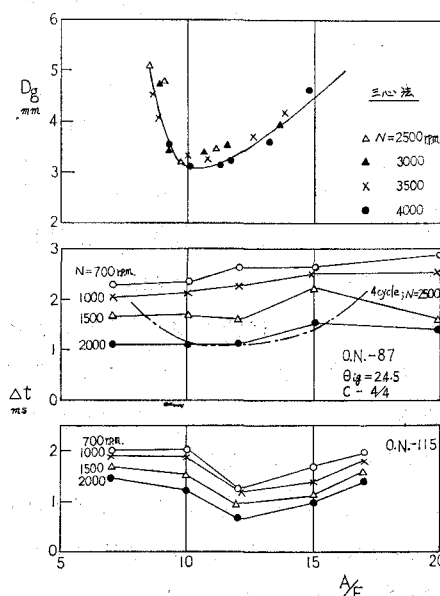
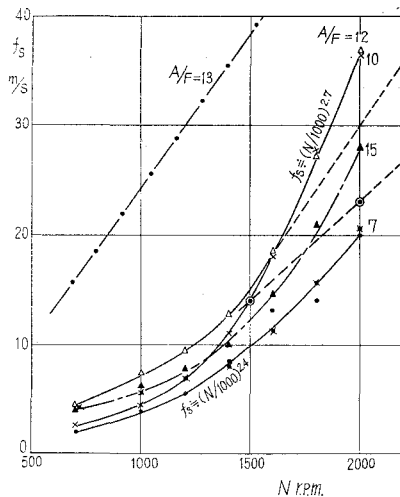


図-7 点火おくれ(Δt)と空燃比



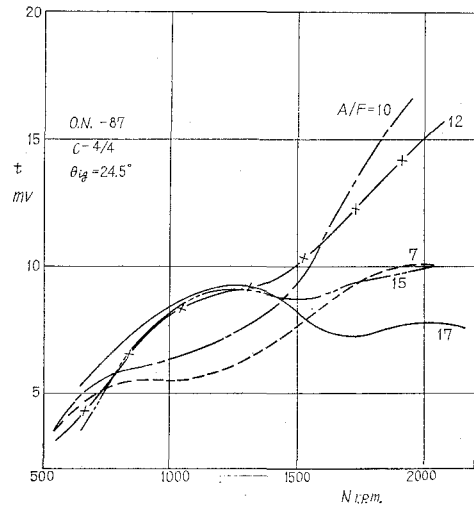
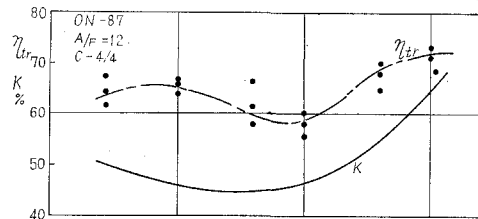
図—8 火焰伝播速度と機関回転数

されるためと考えられる。なお、シリンダ内のガス温度を図-9に示しているが、一般に機関回転数に比例して増大し、火炎伝播速度曲線と相似である。しかし混合比 $A/F=12$ 以上になると機関回転数 $N=1250$ r.p.m. 附近で温度曲線の山を生じている。

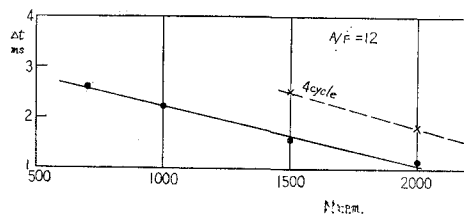
この傾向は混合比が希薄な $A/F=15$, $A/F=17$ の場合にはとくに顕著に現われる。これは供試機関の給気効率 (η_{tr}) の特性が図-9の上方に併記しているような曲線となるためであろう。

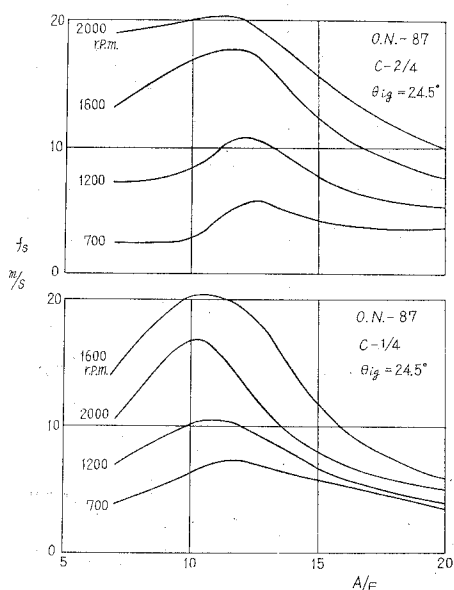
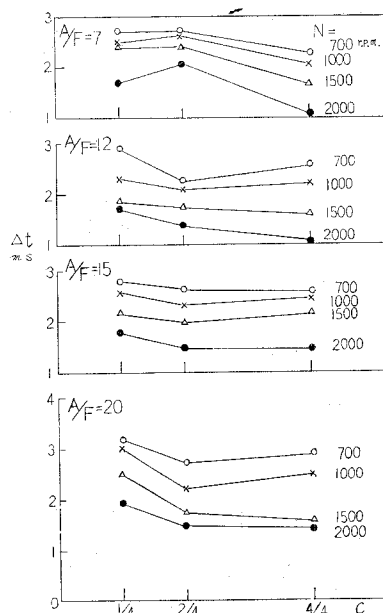
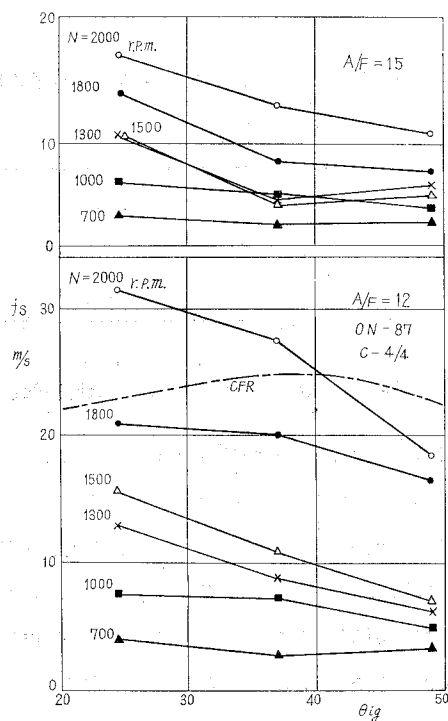
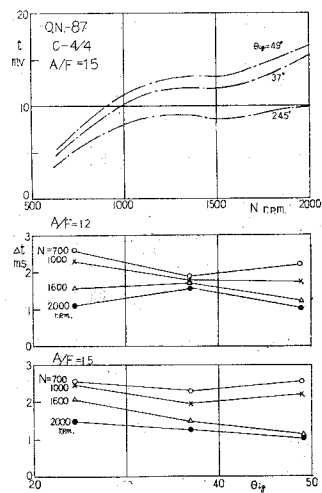
点火おくれに関する実験結果 ($A/F=12$, O.N.=87) を図-10に示す。

一般に2サイクル機関のシリンダ内ガス温度は、4サイクル機関のそれよりも高いので、同図に併記した4サイクル機関の点火おくれ (Δt) よりもかなり小さい値を示している。従来4サイクル機関における点火おくれは機関回転数に反比例するほど著しい変化を示さないもので、回転数の増加にしたがって点火進め角を広げねばならぬと云われている。しかし2サイクル機関では機関回転数に対して点火おくれは直線的に短縮しており、これをクランク角で表示すると $N=1000$ r.p.m. で $\theta=12.02^\circ$, $N=2000$ r.p.m. で $\theta=11.11^\circ$ となりほぼ一定であることがわかる。



図—9 シリンダ内ガス温、給気比、給気効率と機関回転数


 図—10 点火おくれ期間 (Δt) と機関回転数

図—11 火焰伝播速度 (f_s) と気化器開度 (C)図—12 点火おくれ (Δt) と気化器開度 (C)
O.N.-87, $\theta_{ig} = 24.5^\circ$ 図—13 火焰伝播速度と点火進め角 (θ_{ig})図—14 点火おくれ (Δt) と点火進め角 (θ_{ig})
O.N.-87, $C = 4/4$

III-3 気化器開度を変えた場合

一般的には気化器開度の減少に伴って給気比は低下し、残留ガスが増加する。従って混合気の温度上昇には役立つが、その反面酸素濃度の減少のため火炎速度が下がる結果となるものと考えられる。これらの影響をしらべるため、気化器開度を半開 ($C=2/4$) および $1/4$ 開度 ($C=1/4$) に固定して火炎伝播速度を測定し、その結果を図-11 に示した。これらの結果と、先に示した(図-5) 気化器全開 ($C=4/4$) の場合とを比較すると、高速回転 ($N=2000$ r.p.m.) では火炎伝播速度 (f_s) が気化器開度の減少につれて順次低下しているが、これは給気比が低下し、残留ガスの割合が増加するためと推察される(図-5, および図-11 の $N=2000$ r.p.m. 曲線の比較)。

これに対して、 $N=1600$ r.p.m. や $N=700$ r.p.m. の場合の火炎伝播速度が $N=2000$ r.p.m. におけるよりも高い値を示している。このことは気化器開度の減少によって低速回転における給気比が増加することに基因するものと考えられる。従って、最大火炎伝播速度を与える機関回転数が存在するので、部分負荷運転時における熱負荷の問題からも注目すべき事実であろう。

次に点火おくれ期間 (Δt) は図-12 に示す如く気化器開度が小さくなる程増大している。

III-4 点火時期を変えた場合

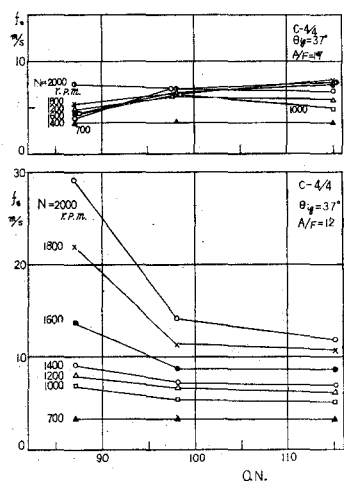
点火進め角を変えると火花点火の際の、シリンダ内圧力、温度および吸気の乱れの減衰状態などが変るものと考えられる。

いま、点火進め角 (θ_{ig}) を 24.5° , 37° および 49° に変えた場合の火炎伝播速度に関する実験結果を図-13 に示している。図によると低速回転 ($N=1000$ r.p.m. 以下) では、点火進め角 (θ_{ig}) を変えても火炎伝播速度 (f_s) はほとんど変らない。しかし高速回転では、点火進め角 (θ_{ig}) に逆比例して低下している。これは点火時期におけるシリンダ内圧力が低いためであろうと推察される。結果的には、高速回転になるほど点火進め角を上げようとする効果が相殺されることになる。

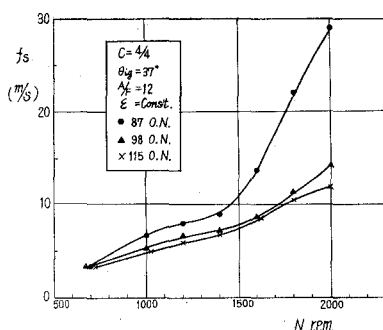
他方、点火進め角 (θ_{ig}) に比例して、シリンダ内温度が上昇するので、点火おくれ期間 (Δt) は図-14 に示すように、むしろ短縮している。これらの結果と先に述べた機関回転数の影響とを考え合わすとき、クランク室圧縮型2サイクル機関の点火時期はある程度の回転数範囲では近似的にはば一定とみなしてもよいのではなかろうかと考えられる。かかる事実は超高速機関 ($N=15,000$ r.p.m.) において、すでに指摘されている¹³⁾ ($\theta_{ig}=25^\circ$ 固定)。

III-5 燃料のオクタン価 (O.N.) を変えた場合

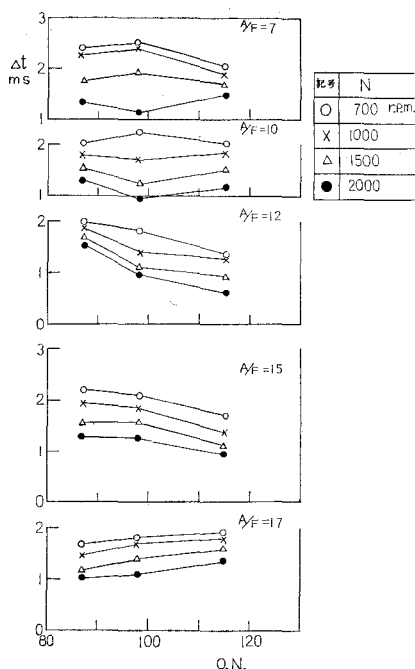
自動車用ガソリン (オクタン価 O.N.-87 および 98) と航空用ガソリン (オクタン価 O.N.-115) を用いた場合の実験結果を図-15 に示している。同図によると、理論混合比よりも希薄な場合 ($A/F=17$) には、オクタン価の高い燃料を用いると火炎伝播速度が早くなる傾向が認められるが、最大出力混合比 ($A/F=12$) 附近における低速回転の火炎伝播速度 (f_s) はオクタン価



図—15 火焰伝播速度とオクタン価 (O.N.)



図—16 火焰伝播速度とオクタン価

図—17 点火おくれ (Δt) と
オクタン価 (O.N.) $\theta_{ig}=37^\circ$, $C=4/4$

(O.N.) にほとんど影響されない。しかし、回転数の上昇につれて低オクタン価燃料 (O.N.-87) の火炎伝播速度は順次増加し、高オクタン価燃料 (O.N.-98, O.N.-115) の値よりも高くなっている (図-16)。なお、オクタン価 88, 85 および 66 の 3 種類の燃料を用いた中田氏²⁾ の実験結果によると、オクタン価が高いほど火炎速度が大きくなっている。この事実を考え合わせるとき最大の火炎速度を与えるオクタン価の値が存在するものと考えられるが、この他にも運転条件 (空燃比、機関回転数等) によって火炎速度に対するオクタン価の影響が変わることが指摘される。これは燃料に含有する四エチル鉛の他に燃料の物理的性質 (気化性) の問題も加味されているためであろう。

すなわち、空燃比 $A/F=17$ の場合、低オクタン価のガソリンの方が気化性が悪く、実質的にはさらに希薄な混合気になっているものと考えられる。しかるに 2 サイクル機関では、混合気の希薄化による火炎伝播速度の低下が著るしいのでこの影響が支配的となり、その結果としてオクタン価 (O.N.) に比低して火炎伝播速度 (f_s) が速くなる。

これに対して、空燃比 $A/F=12$ の場合には低オクタン価燃料の気化率が悪くとも、この附近での空燃比の変化に対する火炎伝播速度の差異は比較的少くない。そこで高オクタン価燃料に含有されている四エチル鉛が燃焼をおくらせるので火炎伝播速度 (f_s) が低くなるものと推察される。すなわち、高オクタン価のガソリンほど火炎伝播速度はおそくなるが、気化性の異なる燃料では実質的の混合比が違ふことになり、その影響も加味される結果、最大火炎伝播速度を与えるオクタン価 (O.N.) が存在するものと考えられる。

一般にオクタン価の高い燃料は燃焼過程において第一段の過酸化反応と、第二段の冷炎反応をおこしにくくするので点火おくれは大きいと云われている。しかし図-17 に示した本実験結果によると、あながちそうとも云えないようである。例えば混合比が希薄 ($A/F=17$) な場合にはオクタン価の増加と共に点火おくれが大きくなっているが、最適混合比範囲 ($A/F=13\sim 12$) の場合には、全く逆の傾向を示している。さらに過濃混合比 ($A/F=10\sim 7$) の場合にはオクタン価 96 の場合を考えると点火おくれが最低になったり最高になったり一貫した傾向が認められない。これらの理由については不明の点が多く、今後十分な解明の余地があるが燃料の気化性と四エチルによる点火性の阻害等の影響が加味されているためと思われる。

IV. 結 言

以上、クランク室圧縮型 2 サイクル機関のシリンダ内における火炎伝播速度および点火おくれに関する実験結果について述べたが、要約すると次のことがらげえる。

i) 2 サイクル機関においても 4 サイクル機関の場合と同様に、理論混合比よりも多少過濃なところ ($A/F=11$) で火炎伝播速度が最大となり、点火おくれ期間は最少となる。しかし最大火炎伝播速度を与える混合比は、機関回転数の低速化に伴って、多少希薄側に移行する傾向を示す。

ii) 火炎伝播速度 (f_s) に及ぼす機関回転数の影響は、4 サイクル機関の場合よりもかなり顕著であり、機関回転数の約 2.4~2.7 乗に比例して増加し、他方点火おくれ期間は 4 サイクル機関の値よりもかなり短かく、機関回転数に反比例して短縮する。したがって従来の常識に反して、回転数を変えても最適の点火時期はあまり変らないものと思われる。

iii) 気化器開度が極めて小さい場合 (例えば C-1/4) には、最大火炎伝播速度を与える機関回転数が存在する。これは部分負荷運転時の熱負荷の問題として注目すべき事実であろう。

iv) 点火時期を変えても低速回転における火炎伝播速度はほとんど変らない。しかし、或る回転数以上になると、火炎伝播速度は点火時期が進むにつれて、むしろ低下する傾向をもつが、点火おくれ期間がかなり短縮するので、点火時期拡張の効果を助長することになる。

v) 燃料のオクタン価によって、火炎伝播速度が変る傾向はそのときの運転条件、例えば機関回転数、空燃比等で影響され、最大火炎伝播速度を与えるオクタンが存在するが、これは

燃料の気化性と四エチル鉛の影響とも関連しているものと考えられる。

終りにあたり、日頃御指導贈わっている東京大学浅沼強教授、北海道大学黒岩保教授、実験を担当された群馬大学工学部機械工学科青柳富夫氏、卒業研究学生飯田、田所、野尻君および室蘭工大機械科福島和俊教官、早川友吉技官に深甚なる謝意を表す。

(昭和40年4月30日受理)

文 献

- 1) 八田：熱機関大系 5, 火花点火機関, 山海堂.
- 2) 中田：運研報告, 8, 4 (1958).
- 3) C. F. Taylor: The Internal Combustion Engine.
- 4) 藤本：機械学会金沢地方講演会前刷 (昭39-9).
- 5) 熊谷：内熱機関測定法, 養賢堂.
- 6) 沢：室工大研報, 4, 3.
- 7) 宮部：明治大学工学部研究報告, 13 (昭34).
- 8) 斉間：機械学会前刷集, No. 120 (昭39-10).
- 9) 酒井：機械の研究, 9, 9 (1957); 10, 9 (1958).
- 10) 沢：室工大研報, 4, 3.
- 11) 沢：機械学会論文集, 26, 162 (昭35-2), 328.
- 12) 増田：機械学会誌, 61, 469 (昭33-2), 31.
- 13) 岡野：機械学会誌, 67, 545 (1964), 921.